

İstanbul Eyüp Tünelinde Galeri Açma Makinesi ile Elde Edilen Sonuçlar ve Bunların Maden Mühendisliği Açısından Önemi

The Roadheader Performance in Istanbul Eyüp Tunnel and the Importance of the Results for Mining Engineering

Nuh BİLGİÇ(*)
Turan SEYREK(**)
Kourosh SHAHRIARC(**)

ÖZET

Bu çalışmada Eyüp Tünelinde kullanılan galeri açma makinesinin performansını etkileyen jeoteknik etmenlerle ilgilidir. İlk olarak vardiya verileri ve makina performansının tümüyle analizleri yapılmış, geçilen formasyonların jeoteknik özellikleri ile makina ilerleme hızı arasındaki istatistiksel bağlantılar araştırılmıştır. Sonuçta basınç dayanımı $\times R.Q.D.^3$ olarak tanımlanan kayaç kütlesi kazılabilirlik indeksinin en iyi neticeyi verdiği görülmüş ve sonuçlar maden mühendisliği açısından irdelenmiştir.

ABSTRACT

This article is mainly concerned with the geotechnical factors affecting roadheader performance in Eyüp Tunnel. Firstly, shift data, overall machine performance and geotechnical properties of the rock formations in the zones are examined in detail. A statistical analysis showed that rock mass cuttability index defined as compressive strength $\times R.Q.D.^3$ is the main factor governing the roadheader advance rate-and the results are discussed from the mining engineering point of view.

(*) Doç.Dr., Maden Yük.Müh., İ.T.O. Maden Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, İSTANBUL.

(**) Jeoloji Yük.Müh., Uluslararası Birleşmiş Müşavirler L.T.D., İSTANBUL.

(***) Maden Y.Mühendisi, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, İSTANBUL.

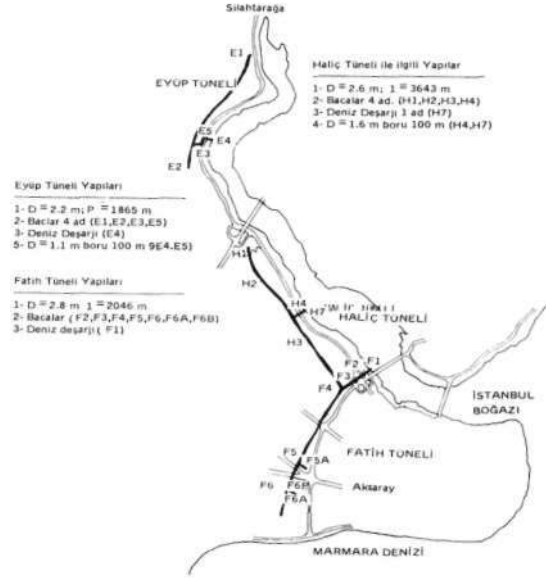
1. GİRİŞ

Kesip parçalama esasına dayanan, mekanize tünel açma makinalarının ilkinin Albay Beaumont tarafından Manş Denizi'nin altında açılacak tünelde kullanılmak üzere 1882 tarihlerinde tasarlandığı ve uygulamaya koyulduğu bilinmektedir. Bu tarihten sonra bir süre bu konuda çalışma yapılmamış 1950'lerden sonra ise çalışmalar hızlanmış ve 1970'lerde de patlama noktasına ulaşmıştır. Kazı işleminin klasik yöntemle göre bazı koşullarda daha hızlı, güvenli ve ekonomik olması, bu tip makinaların madencilik sektöründe de hızla kullanım alanı bulmalarına neden olmuştur. 1982'de yapılan bir çalışmaya göre, belirtilen tarihte maden ocaklarında, A.B.D'de 3000, SSCB'de 1226, İngiltere'de 650 adet kollu galeri açma makinası kullanılmaktaydı (Ghose, 1982).

İstanbul gibi karmaşık şehirleşmeye sahip yerleşim yerlerinde ise, açılacak her tünelde, yerüstü yapılarına zarar vermemek amacı ile mekanize kazı sistemlerinin kullanılması kaçınılmaz olmaktadır. Bu sistemlerin gelişmesi ise, gerek inşaat mühendisliği, gerekse maden mühendisliğinin uğraşı içerisindeki projelerden elde edilen bilgilerin birlikte değerlendirilmesi ile olmuştur. İşte bu paralelde, İstanbul'da açılan bir kanalizasyon tüneline ait tüm veriler değerlendirilmiş ve maden mühendisliğindeki uygulamalar için bazı yeni görüşler getirilmeye çalışılmıştır.

2. EYÜP TÜNELİ PROJESİNİN TANITILMASI

Eyüp Tüneli Projesi, İstanbul'dan Haliç ve yöresinin kanalizasyon probleminin çözümü, tüm bölgedeki konutlara ait ve endüstriyel atıkların denize ulaşmadan sahillere paralel kollektörlerle toplanarak arıtma tesislerine taşınması ve buralarda arıtma işlemine tabi tutulduktan sonra denizin dip akıntılarına boşaltılmasını esas alan Güney Haliç Projesinin bir kısmını oluşturmaktadır. Proje kapsamındaki tünel ve bağlantıları Şekil 1'de gösterilmiştir. Güney Haliç Projesi 750 000 m³/gün'lük bir arıtma tesisi ve 13 km'lik kanalizasyon ağından oluşmaktadır ve bu ağın 6,56 km'lik kısmı kollu makinelerle açılmak üzere planlanmıştır. Proje maliyetinin % 75'i Dünya Bankası tarafından desteklenmiştir. Eyüp Tüneline 25 Haziran 1986'da başlanmış ve 7 Mayıs 1987'de tünel tamamlanmıştır. Tünelin açılması sırasında tüm işlemler; özellikle makinalarla ilgili bilgiler dikkatle toplanmış ve gerekli yerlerden kayaç örnekleri alınarak üzerlerinde mekanik deneyler yapılmak üzere arşivlendirilmiştir.



Şekil 1. Güney Haliç Projesi'nin ana hatları.

Günde üç vardiya olarak çalışılmıştır, çalışan elemanların dağılımı ise aşağıdaki gibidir:

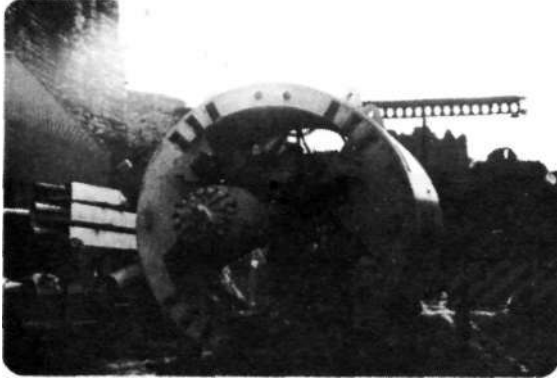
Şantiye'de çalışanlar: 1 tünel şefi, 2 vardiya mühendisi, 2 vardiyaformeni, 3 elektrikçi, 2 kompresörçü, 2 idari eleman, 1 harita ve kadaströ mühendisi, 2 şoför.

Vardiya işçileri: 1 vardiya çavuşu, 1 makina operatörü, 3 segman montajcısı, 1 erektör operatörü, 2 lokomotif sürücüsü, 3 enjeksiyon işçisi, 1 band arkası işçisi, 1 pompa bakımıcısı, 1 topograf, 1 çeşitli işler için işçi.

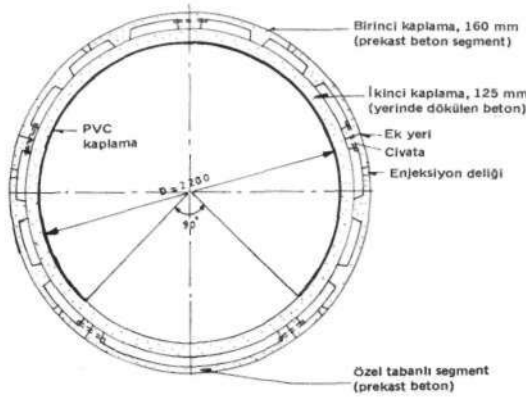
1 m'lik hafriyat için harcanan enerji 42 kwh'dir.

Detaylı çalışmalar sonucu, tünel eksenindeki formasyonlar için mekanik kazıya en uygun makinanın, kalkanının gövdesine monte edilmiş kızak üzerinde hareket eden tipte bir kollu makina olduğuna karar verilmiştir. Şekil 2'de makinanın genel yapısı görülmektedir. Döner kafa 95 H.P. gücünde hidrolik motorlarla tahrik edilmekte, dönme hızı ise 90 devir/dakika'ya kadar ayarlanabilmektedir. Makina metan dedektörleri ile donatılmıştır ve belirli miktarda gazla rastlandığında tüm sistem otomatik olarak durmaktadır.

Açılan tünelin tipik bir en kesiti Şekil 3'de görülmektedir. Prekast beton segmanların kalıpları İngiliz Stelmo Şirketi tarafından temin edilmiştir ve segmanlar şantiyedeki tesislerde dökülmektedir. Aynı zamanda bu tesislerde ikinci kaplama için ge-



Şekil 2. Eyüp Tünelinde kullanılan galeri açma makinesinin genel görünüşü.



Şekil 3. Eyüp Tünelinin en kesiti.

Çizelge 1. Tünel Kazı Sonuçları

Makinadan faydalanma	% 54 vardiya zamanı
Makina ölü zamanı	: % 46 vardiya zamanı
Ortalama ilerleme hızı	1,9 m/vardiya
Net kesme hızı	: 0,44m/sa(3,5m ³ /sa)
Vardiyada en iyi ilerleme	: 5,3 m (42,5 m ³ /vardiya)
Ortalama haftalık ilerleme:	33 m (265,3 m ³)
En iyi haftalık ilerleme	: 65 m (522,6 m ³)
En düşük haftalık ilerleme:	8,3 m (66,7 m ³)
Ortalama aylık ilerleme	141,8 m (1140 m ³)
En iyi aylık ilerleme	: 221,2 m (1178 m ³)
En düşük aylık ilerleme	: 49,8 m (400,4 m ³)
Ortalama keski sarfiyatı	: 0,21 keski/m ³

Makina ölü zamanı

Bant	: % 11,6 vardiya zamanı
Kesici kafa	: % 10,7 vardiya zamanı
Erektör	: % 5,8 vardiya zamanı
Kalkan	: % 4,4 vardiya zamanı
Keskilerin değiştirilmesi	: % 2 vardiya zamanı
Diğer nedenler	: % 11,5 vardiya zamanı
Toplammakinaölüzamanı:	% 46 vardiya zamanı

reken beton da hazırlanmaktadır. Tünelin belirli bir kısmı ise, betonun zararlı gazlardan korunması için.P.V.C. ile kaplanmaktadır.

3. VARDİYA ANALİZİ VE KAZI PERFORMANSI

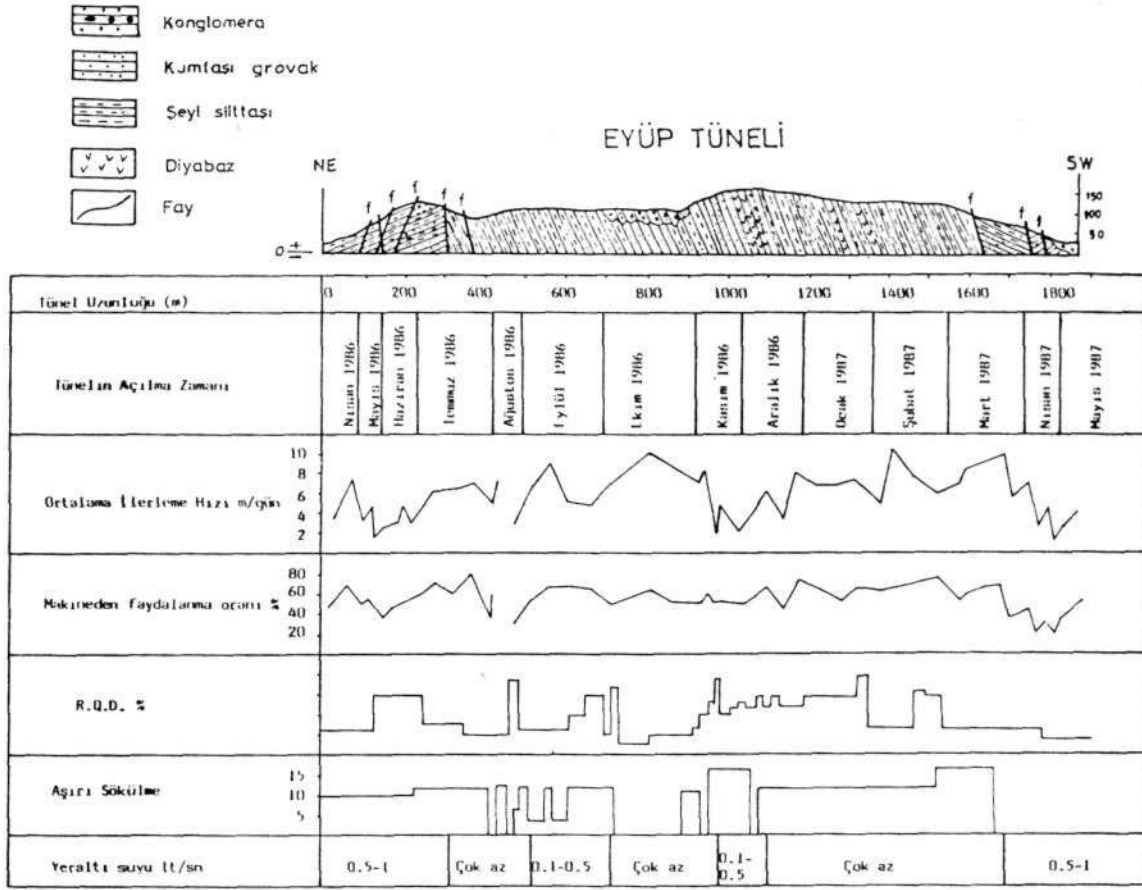
Tüm sonuçlar Çizelge 1 ve Şekil 4'de özetlenmiştir. Buradan da görüldüğü gibi, kazı makinesinden faydalanma oranı ortalama olarak % 54 civarındadır. Bu da uygulamanın son derece başarılı olduğunu vurgulamaktadır. İlerleme hızı ise büyük bir ölçüde geçilen formasyonların özelliklerine bağlıdır ve bu konuya bir sonraki bölümde değinilecektir.

4. GEÇİLEN FORMASYONLARIN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

Detaylı çalışmaların yapılacağı bölgelerin seçimi için Poole ve Farmer (1978) tarafından önerilen yöntem uygulanmıştır. Burada seçilen bölgeler için jeolojik kriterler esas alınmış ve seçim istatistiksel testlerden tamamen bağımsız olarak yapılmıştır. Her bir bölgede makina performansı, keski sarfiyatı, jeolojik veriler, kayaç kütle yapısı ve alınan örneklerin bazı mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Geçilen formasyonlar karbonifer yaşlı iri ve ince taneli, şeyli, kumtaşı ve konglomeradır. Zaman zaman tünel eksenini boyunca, ilerleme hızını önemli ölçüde düşüren diyabaz dayklarına da rastlanmıştır. Bütün bu jeolojik koşulları kapsayan verilerin toplanmasına büyük dikkat harcanmıştır. Seçilen bölgeler, bu bölgelerde elde edilen makina performansları R.0-D. değerleri ve alınan örnekler üzerinde yapılan mekanik deneyler Çizelge 2 ve 3'de özetlenmektedir.

3 nolu çizelgede verilen R.Q.D. (Kayaç Kalitesi) değerleri Brown'un (1981) tanımladığı şekilde süreksizlikler arası uzaklıktan hesap edilmiştir. Shore sertliği değerleri için C-2 Model Shore Scleroscope'u kullanılmıştır. Verilen her sertlik değeri 20 değişik noktadaki okumanın ortalamasıdır. Çizelge 3'deki basınç dayanımı değerleri ise N.C.B (İngiliz Kömür İdareleri) koni delici cihazı kullanılarak bulunmuştur, bu konuda daha geniş bilgi yazarlar tarafından 1986'da yayımlanan bir yazıda vardır (Bilgin, 1986).



Şekil 4. Tünel jeolojik kesiti, kazı anının durumu ve tünel faaliyeti sonuçları.

Çizelge 2. Seçilen Bölgeler ve Bu Bölgelerde Elde Edilen Makina Performansları

Bölge	Tünel (m)	Tarih	Makinadan Faydalanma %	Günlük İlerleme m/gün	Net Kazı Hızı m ³ /sa
1	475,9	29.8.1986	29	6,04	6,91
2	836,8	20.10.1986	55	9,81	5,96
3	898,7	30.10.1986	51	14,34	9,40
4	928,4	3.11.1986	60	12,08	6,72
5	934,4	4.11.1986	60	711,32	6,30
6	962,9	8.11.1986	60	7,50	4,18
7	982,3	11.11.1986	55	0,75	0,46
8	1095,4	16.12.1986	46	2,07	1,50
9	1174,9	30.12.1986	68	6,79	3,34
10		9.1.1987	62	12,08	6,53
11	1334,4	26.1.1987	61	3,00	1,65
12	1336,6	28.1.1987	61	1,50	0,83
13	1405,9	6.2.1987	59	13,59	7,72
14	1452,2	14.2.1987	63	9,81	5,22
15	1486,7	18.2.1987	75	6,00	2,68
16	1554	2.3.1987	59	15,85	9,00
17	1586,6	9.3.1987	63	12,08	6,42
18	1694,5	21.3.1987	64	6,00	3,14
19	1725,2	3.4.1987	42	9,81	7,82
20	1801,7	13.4.1987	32	14,34	15,01

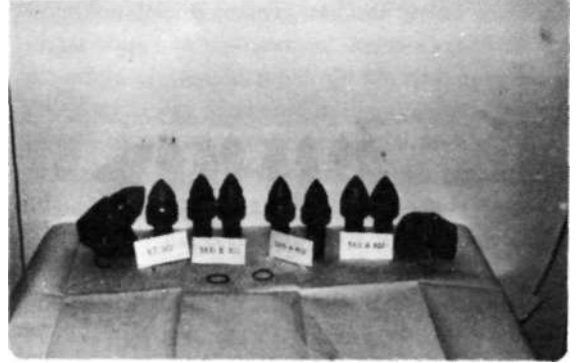
Çizelge 3. Geçilen Formasyonların Jeoteknik Özellikleri ve Keski Sarfiyatı

Bölge	Formasyonun Tanımı	R.Q.D. %	Keski Sarfiyatı Keski/m ³	Shore Sertliği	Cerchar Aşındır. İndeksi	Basınç Dayan. Kg/cm ³
1	Kuvars ve muskovitçe zengin silttaşı	70	0,075	52	2,5	1041
2	Grovak	20	0,064	58	2,5	1502
3	Mikaca zengin şeyi	50	0,040	45	2	829
4	Şeyi	50	0,113	48	-	695
5	Ardaşımlı silttaşı vfe-kumtaşı	50	0,113	38	-	727
6	Grovak	50	0,80	55	2,5	760
7	Grovak	80	0,354	72	4	1557
8	Diyabaz, % 95 feldspat ve opak mineraller	50	0,357	65	4	1571
9	Şeyi	60	0,083	45	3	822
10	Mikaca zengin şeyi	60	0,026	41	-	943
11	İnce taneli kumtaşı ve ardaşımlı şeyi	60	1,093	49	4,5	1262
12	Dayk, % 85 tamamen kristalli feldspat	60	1,093	71	-	1279
13	Diyabaz	25	0,175	67	3,5	1591
14	Grovak, % 45 kuvars; % 10 plajiyoklas	25	-	73	-	1465
15	Şeyi	65	0,436	41	-	1062
16	Şeyi	30	-	68	-	1028
17	Diabaz	30	0,096	78	3,5	892
18	Kumtaşı, % 55 kuvars, % 10 feldspat	30	-	75	3,5	1541
19	İnce taneli kumtaşı, % 55 kuvars, % 3 mika	30	-	68	3,5	1328
20	Silttaşı	20	-	30	2	551

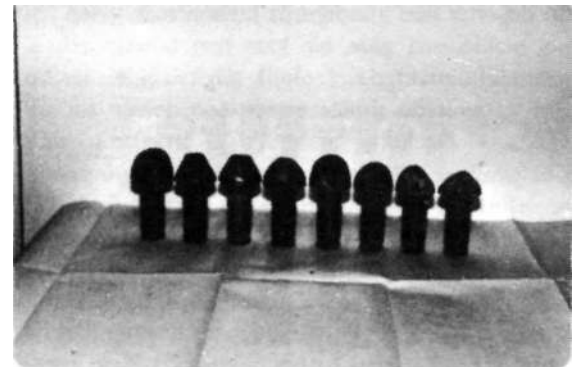
Keski sarfiyatı mekanik kazının ekonomisini etkileyen önemli unsurlardan biridir ve bu, doğrudan, kayacın aşındırıcılık ve sertliğine bağlıdır. Keski sarfiyatını önceden saptamak için kullanılan birkaç yöntem olup, bunlardan en çok kullanılanı Cerchar aşındırıcılık deneyidir. Bu yöntem Şuana (1982) ve West (1986) tarafından geniş olarak ele alınmış ve irdelenmesi yapılmıştır. Deneyde 610 Vickers sertliğindeki 90°'ye sivriltilmiş bir uç 7 kg'lık kuvvetle kayaç örneği üzerine bastırılıp 1 cm çekilmektedir. Kayacın aşındırıcılığı ise uçta meydana gelen aşınma yüzey çapının 1/10 mm duyarlılıkta ölçülmesi ile tanımlanır. Bu değerlere göre kayaçların aşındırıcılıklarının sınıflandırılması Çizelge 4'de verilmiştir. Eyüp Tüneli'nde karşılaşılan formasyonların bazılarının Cerchar aşındırıcılık indeksi ise Çizelge 3'de verilmiştir. Şekil 5 ve 6'da ise yeni ve aşınmış keski bir arada görülmektedir.

5. MARINA İLERLEME HIZININ ÖNCEDEN KESTİRİLMESİ

Herhangi bir tünel ya da galeri açma işine giren mühendis projeyi ne kadar sürede tamamlayabileceğini önceden kestirmek ister. Bu, açılan ihalelerde ya da termin planlarının daha sağlıklı yapılma-



Şekil 5. Eyüp Tünelinde kullanılan yeni keski.



Şekil 6. Eyüp Tünelinde kullanılan aşınmış keski.

Çizelge 4. Cerchar Aşındırıcılık Deneyine Göre Kayaçların Sınıflandırılması (Atkinson 1986)

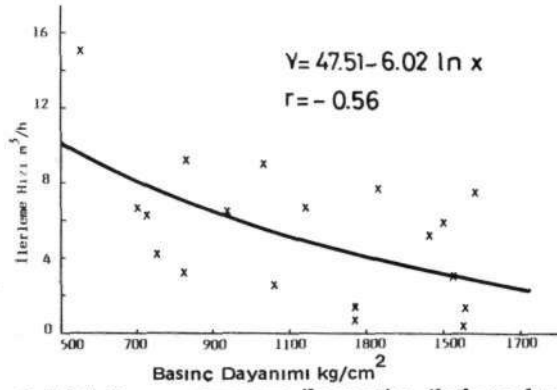
Sınıflama	Cerchar İndeksi	Kayaç Çeşiti
Çok fazla aşındırıcı	4,5	Hornblend, gnays, pegmatit, granit
Çok aşındırıcı	4,254,5	Anfibolit, granit
Aşındırıcı	4,04,25	Granit, gnays, sıst, kumtaşı, piroksen
Biraz aşındırıcı	3,54,0	Kumtaşı, silttaşı
Orta aşındırıcı	2,5-3,5	Gnays, dolorit
Az aşındırıcı	1,25-2,5	Portland kumtaşı
Çok az aşındırıcı	1.2	Kireçtaşı



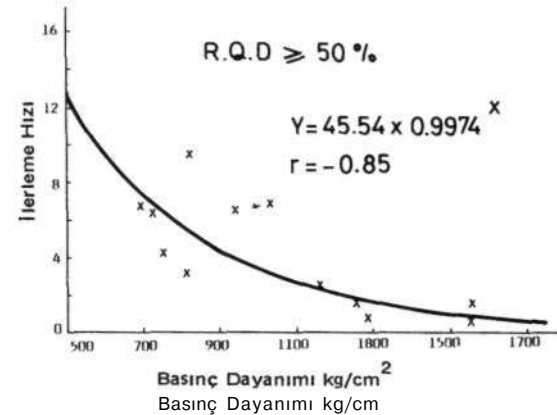
Şekil 7. I.T.Ü.'de mevcut kazılabilirlik ölçü cihazı.

sında göz önüne alınması gereken önemli noktalardan biridir. Önceleri formasyonların basınç dayanımları bu konuda bir ölçüt olarak ele alınmışsa da, sonraları kayaç özelliğine bağlı çok daha başka özelliklerin mekanize kazı randımanını etkilediği görülmüştür. Gerçek mekanik kesmeyi simüle eden laboratuvar deneyleri ise bu amaçla geliştirilmiştir (Bölükbaşı, 1984; Bilgin, 1987). Bu deneylerde, Şekil 7'de görüldüğü gibi bir planya masasına monte edilmiş bir kayaç örneğine önceden belirlenmiş deney koşullarında kesme deneyi uygulanmakta ve birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli enerji olarak tanımlanan özgül enerji ise bir dinamometre-U.V kaydedici sistemiyle ölçülmektedir. Ölçülen bu değerler esas alındığında kullanılacak galeri açma makinasına göre bir kazı hızı tahmin etmek mümkün olmaktadır. Jeolojik süreksizlikleri ise bu gibi sistemlerde simüle etmek son derece zor olmaktadır, özellikle İstanbul'daki örnekte olduğu gibi kırıklı ve çatlaklı formasyonlarda ise yöntemin geçerliliği tartışılabilir. Bu görüş ışığında Eyüp Tüneli için elde edilen veriler üzerinde istatistiksel analizler yapılmış ve makina ilerleme hızını önceden veren bağıntılar geliştirilmeye çalışılmıştır. Şekil 8'de geçilen formasyonların basınç dayanımları ile makina net ilerleme hızları arasındaki ilişki verilmiştir, buradan da görüldüğü gibi istatistiksel güven-

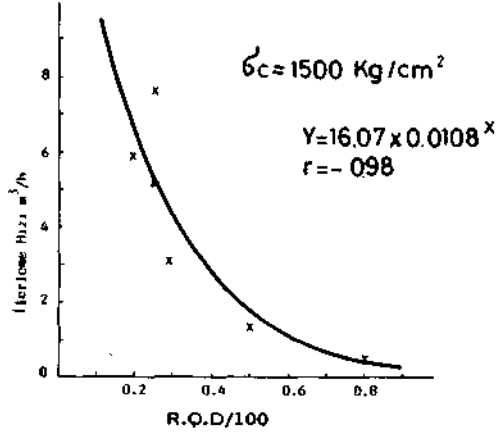
nilirlik oldukça düşüktür. Bu da bir önce bahsedilen, basınç dayanımının tek başına güvenilir olamayacağı sonucunu doğrulamaktadır. Eğer kayaç kalite değeri R.Q.D., % 50'nin üzerinde ise Şekil 9'dan da görüldüğü gibi basınç dayanımı ile makina ilerleme hızı arasındaki ilişki daha anlamlı olmaktadır. Belirli basınç dayanımındaki formasyonlar için R.Q.D. ile makina ilerleme hızı arasındaki ilişki Şekil 10'da verilmiştir. Korelasyon katsayısı oldukça yüksektir, bu da jeolojik süreksizliklerin mekanik kazıda ne denli önemli rol oynadığını göster-



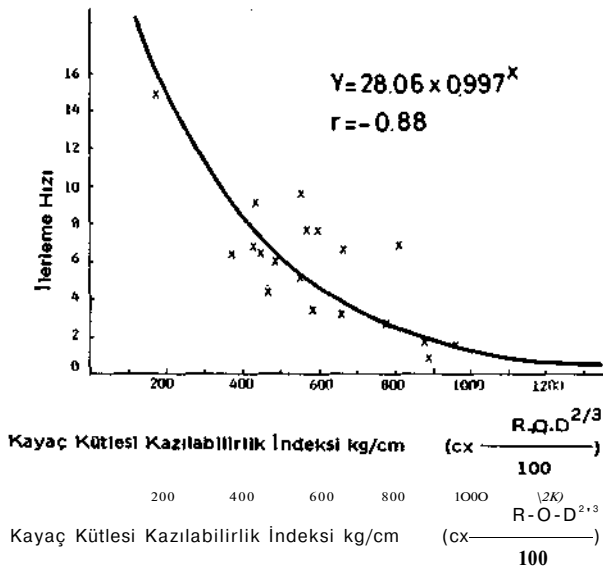
Şekil 8. Basınç dayanımı ile makine ilerleme hızı arasındaki ilişki.



Şekil 9. R.Q.D. > 50 değerleri için basınç dayanımı ile makina ilerleme hızı arasındaki ilişki.



Şekil 10. R.Ç.D. ile makina ilerleme hızı arasındaki ilişki.



Şekil 11. Kayaç kütlesi kesilebilirlik indeksi ile makina ilerleme hızı arasındaki ilişki.

Çizelge 5. TKİ Orta Anadolu Linyitleri İşletmesinde Galeri Açma Makinaları ile Elde Edilen Değerlerle Kesirilen Değerlerin Karşılaştırılması*

Makina	Dosco MK-2A		Pk92r		
Tarih	7/5/1982	9-11/8/1982	16-22/8/1982	17-18/8/1982	9-11/8/1982
Kayaç	Kumtaşı	Silttaşı	Aglomera	Silttaşı	Volkanik Tüf
Basınç Dayanımı kg/cm ²	302,4	231,4	435	321	156,1
Gerçek Kesme Hızı (m ³ /sa)	10,2	17,4	10,5	11,4	26,5
Kestirilen Kesme Hızı	13,2	15,8	9,5	12,5	19

* R.O-D. değerleri %75 alınmıştır.

mehtir. Tüm tünel eksenini boyunca tek bir basınç dayanımı değeri söz konusu olamayacağından bu ilişkiyi, olayı açıklayıcı nitelikte görmekte yarar vardır. Daha detaylı yapılan bir istatistiksel analiz ise Şekil 11'de de görüldüğü gibi makina ilerleme hızının en çok, formasyonunun basınç dayanımı x kaya kalite değeri (R.Ç.D.)^{2/3} olarak tanımlanan kayaç kütlesi kazılabilirlik indeksine bağlı olduğunu göstermiştir. Bu değer in sondaj karotlarından kolayca elde edilebilmesi, çıkarılan bağıntıyı daha ilgi çekici hale getirmektedir. Bağıntının genelleştirilip genelleştirilemeyeceğini araştırmak amacı ile daha önce O.A.L. (Orta Anadolu Linyitlerinde elde edilen sonuçlar (Bilgin, 1983) Şekil 11'deki bağıntıdan elde edilen sonuçlarla Çizelge 5'de karşılaştırılmıştır. Buradan da görüldüğü gibi önceden kestirilen değerler gerçek değerlere çok yakındır. Yalnız bu bağıntı kullanılırken dikkatli olmalı, ifadenin sadece kesme gücü 100 H.P.'den küçük makineler için geçerli olduğu unutulmamalıdır.

6. SONUÇLAR

İstanbul'da ilerideki yıllarda, gerek kanalizasyon gerekse de metro projeleri için açılacak tünel sayısının büyük bir hızla artacağı tahmin edilmektedir. Yapılan uygulamalardaki, gerek jeolojik gerekse de makina performansı ya da bunlarla ilgili uygulama verilerinin çok iyi kaydedilmesi ve değerlendirilmesi ilerideki uygulamalara büyük ölçüde ışık tutacaktır. İnşaat Mühendisleri ve Maden

Mühendisleri özellikle yeraltı boşluklarının tasarımı ve açılması konusunda şimdiye kadar birbirlerinden çok şey öğrenmişlerdir ve öğrenmeye de devam edeceklerdir. Şu anda İstanbul'da var olan mekanize kazı uygulamalarının maden mühendisliği disiplinine de bir şeyler kazandıracığı görüşünderiz. Bu araştırmada özellikle makina ilerleme hızı ile, kayaç kütlesi kazılabilirlik indeksi olarak tanımlanan, basınç dayanımı xR.Q.D. '* ifadesinin arasında kurulan istatistiksel ilişkinin ve çıkarılan matematiksel bağıntının güvenilirliği ortaya konulmuş ve bu ifadenin maden mühendisliği uygulamalarında da kullanılabileceği vurgulanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada Eyüp Tünelinden elde edilen bulgular kullanılmıştır. Mekanik deneyler İ.T.Ü. Maden Fakültesi Maden İşletme Anabilim Dalında, Shore sertliği deneyleri ise O.D.T.Ü. Maden Mühendisliği Bölümünde yapılmıştır. Bu yönden her iki üniversite yetkililerine teşekkür ederiz. Ayrıca bu çalışmanın yapılmasına olanak sağlayan I.S.K.İ. (İstanbul Su Kanalizasyon İşleri) yetkililerine, U.B.M. (Uluslararası Birleşmiş Müşavirler L.T.D) Müdürü sayın Fuat Diriker'e, S.T.F.A. (Sezai Türkeş Feyzi Akkaya) Şirketi yetkilileri ve proje müdürü sayın Erol Adıgüzel'e teşekkürü ayrıca bir borç biliriz.

KAYNAKLAR

- ATKINSON, T., CASSAPI, V.B., SINGH, R.N., 1986; "Assessment of Abrasive Wear Resistance Potential in Rock Excavation Machinery", International Journal of Mining and Geological Engineering, 3, s. 151-163.
- BİLGİN, N., 1983; "Prediction of Roadheader Performance from Penetration Rates of Percussive Drills: Some Application to Turkish Coalfields", Eurotunnel '83 Conference, s. 111-114.
- BİLGİN, N., SHAHRİAR, K., 1987; "Madenlerde Mekanize Kazı için Bir Ölçme Sisteminin Geliştirilmesi ve T.T.K. Amasra Kömür Bölgesine Uygulanışı", TÜBİTAK MAG: 674 nolu proje, s. 99.
- BÖLÜKBAŞI, N., 1984; "O.A.L. Beypazarı Bölgesi Kayaçlarının Kazılabilirlik Tayini", Türkiye Dördüncü Kömür Kongresi, Zonguldak, s. 173-200.
- BROWN, E.T., 1981; "Rock Characterization Testing and Monitoring", Pergamon Press, I.S.B.N. 0-80-027308-4, s. 211.
- GHOSE, A.K., 1982; "Mechanization of Roadway Drivage in Coal Mines", Metals and Fuels, December, s. 615-618.
- POOLE, R.W., FARMER, I.W., 1978; "Geotechnical Factors Affecting Tunnelling Machine Performance in Coal Measures Rock", Tunnels and Tunnelling, December, s. 27-30.
- SUANA, M., PETERS, Tj., 1982; "The Cerchar Abrasivity Index and Its Relation to Rock Mineralogy and Petrology", Rock Mechanics, Cilt 15, 1-7, s. 1-8.
- WEST, G., 1986; "Relation Between Abrasiveness and Quartz Content for Some Coal Measures Sediments" International Journal of Mining and Geological Engineering, Cilt 4, s. 73-78.